

Magyarországi geodéziai vonatkozási rendszerek és vetületi síkkoordináta-rendszerek vizsgálata

Az elmúlt 150 év során Magyarországon a történelmi helyzet sajátos alakulása következtében több alkalommal kellett országos háromszögelési hálózatot létesíteni. A vízszintes helymeghatározás céljából a geodéziai alaphálózatainkhoz a múltban számos vonatkozási rendszert (ún. geodéziai dátumot), és ezek mindegyikéhez az alsóbbrendű pontok koordinátáinak kiszámításához az ország területéhez jól illeszkedő síkvetületi rendszert (esetleg rendszereket) vezettek be, amelyek napjainkban is használatban vannak.

A geodéziai alaphálózataink közül a II. világháborút követően létesített és jelenleg is alkalmazott EOVA (Egységes Országos Vízszintes Alapponthálózat) részét képezi az egyes európai regionális háromszögelési hálózatoknak (EAGH, ED87), amelyekhez további geodéziai dátumok és síkvetületi rendszerek tartoznak. Az EOVA I. rendű pontjainak szóban forgó geodéziai dátumokra vonatkozó koordinátái összehasonlítható vizsgálatok és tudományos kutatások céljából rendelkezésünkre állnak.

Az EOVA továbbfejlesztésére korszerű kozmikus geodéziai (stelláris háromszögelési, műholdas Doppler- és GPS-) mérésekre került sor, továbbá az elmúlt évtizedben Országos GPS Hálózatot (OGPSH) létesítettek hazánkban. Az alkalmazott kozmikus geodéziai technikák által nyújtott adatok és koordináták vonatkozási rendszere geocentrikus.

Az OTKA pályázat keretében kitűzött kutatásaink célja szerint behatóan foglalkoztunk Magyarország geodéziai vonatkozási rendszereinek és vetületi síkkoordináta-rendszereinek alapvetési szintű korszerű vizsgálataival. Széleskörű irodalomkutatás alapján feltártuk a gyakorlatban jelenleg is alkalmazott geodéziai vonatkozási rendszereink dátumparamétereit. Mivel a geocentrikus koordináta-rendszer és a hagyományos geodéziai módszerből adódóan a háromszögelési alaphálózataink vonatkozási rendszerei nem esnek egybe, sőt ez utóbbiak még egymással sem, ezért meghatároztuk az említett koordináta-rendszerek közötti transzformációt a különböző kiegyenlítési eljárások alkalmazásával.

A szóban forgó (EOVA) I. rendű háromszögelési alaphálózatunk mérési adatait eddig négy alkalommal egyenlítették ki. A négy kiegyenlítésből egy volt önálló nemzeti kiegyenlítés (FAGH72, Felületi Asztrogeodéziai Hálózat 1972), míg három alkalommal nemzetközi kiegyenlítésben szerepeltek a magyar adatok (EAGH58, Egységes Asztrogeodéziai Hálózat 1958; EAGH83; ED87, European Datum 1987). Feladatunknak tekintettük a FAGH ismételt kiegyenlítését az ellipszoidon, a II. kiegyenlítési csoporttal (az eredeti kiegyenlítést a III. kiegyenlítési csoporttal hajtották végre), és megbízhatósági mérőszámok meghatározását a hálózati pontokon. A kiegyenlítés körülményeinek változtatásával (pl. súlyozás bevezetése a távolságmérésekre) a vízszintes hálózat különböző torzulásait modelleztük. Az I. rendű hálózatban az 1972-es kiegyenlítés után végrehajtott méréseket természetesen bevontuk az újabb kiegyenlítésbe.

A GNSS-technika szélesebb körű alkalmazásához szükség van az ETRS89- illetve a WGS84-rendszerben kapott koordináták átvitelére a hazánkban alkalmazott vetületi- és térképrendszerekbe, melyek jelenleg is heterogének. A hazai vonatkozási rendszerek és a GPS referencia rendszerének összevetése, optimális illesztése még hosszabb ideig aktuális probléma marad, amelyre egyre több alkalmas megoldás fog születni. Ahhoz, hogy

ajánlásokkal élhessünk a hazai átszámítási modelleket illetően, szükséges a HD72 rendszer pontossági vizsgálata az OGPSH pontjaira támaszkodva.

A megfelelően pontos (cm pontosságú) gravimetriai geoidmeghatározás, amely nélkülözhetetlen a korszerű GPS-szel végzett geodéziai pontosságú magasságmeghatározás számára, megkívánja azt, hogy a nehézségi erőterben mért adatok egy közös és jól meghatározott geodéziai dátumra vonatkozzanak. Már korábban vizsgáltuk azt, hogy a gravimetriai adatok kis dátumeltéréseiből adódó szabályos hiba hogyan befolyásolja a nagy pontosságú geoidszámításokat. Ezeket a vizsgálatokat bővítettük olyan irányban, hogy a számításokba bevontuk a 138 pontban rendelkezésre álló magyarországi csillagászati függővonal-elhajlások értékeit, amelyek a HD72-es dátumra adottak. A függővonal-elhajlás értékek közvetlenül a geoidfelület vízszintessel bezárt szögét adják meg és jól használhatók a dátumprobléma vizsgálatában.

A pályázat keretében befejeztük a hazai vetületi rendszerek és alapfelületek közötti tetszőleges viszonylatban végezhető átszámítások módszereinek kidolgozását. Elkészítettük a magyarországi vetületi rendszerek leíró katalógusát, amelyben a vetületnélküli rendszerektől kezdve az UTM-vetületig összefoglaljuk az alkalmazott alapfelületeket és vetületi rendszereket, a szükséges állandókkal és összefüggésekkel együtt.

A pályázatban megfogalmazott kutatási feladatok kidolgozása 5 oktató-kutató intézmény témakörben aktívan működő munkatársainak célzott és összehangolt együttműködésére épült. A kutatási eredmények megvitatása céljából a 2004. évi Geomatikai Szemináriumon (MTA GGKI, Sopron) önálló szekcióülést és munkaülést szerveztünk. Az előadások anyagát és a kutatási eredmények összegzését a felsőoktatásban, valamint a geodéziai kutatás és gyakorlat területein hasznosítják.

Kutatási feladataink végrehajtását éves bontásban az alábbiakban foglaltuk össze.

2003: Összefoglaltuk a célra szóba jöhető transzformációs modelleket, és vizsgáltuk hazai alkalmazhatóságukat. Elsősorban a széles körben alkalmazott hasonlósági modelleket elemeztük, különös tekintettel a maradék ellentmondások másodlagos eljárással való csökkentésére, a másodlagos transzformációk súlyozási és algoritmikus kérdéseire.

Behatóan vizsgáltuk az EOVS alapfelületeinek térbeli elhelyezkedését. Vizsgáltuk az ellipszoidi normálmetszet szerepét a hagyományos és a GPS-mérések feldolgozása területén.

Előkészítettük a FAGH jelenleg rendelkezésre álló teljes mérési anyagának kiegyenlítését. Ez adattári gyűjtéseket, kutatásokat, valamint a mérési eredmények (íránymérések, távolságmérések, csillagászati mérések) strukturált adatbázisba rendezését és ellenőrzését foglalta magában.

Megvizsgáltuk a nehézségi rendellenességek esetében azt, hogy milyen mértékű vízszintes és magassági dátumeltérés hatása mutatható ki a függővonal-elhajlások segítségével a geoidfelület dőlésén keresztül.

Elkészítettük a magyarországi vetületi rendszerek leíró katalógusát, amelyben a vetületnélküli rendszerektől az UTM (Universal Transverse Mercator) vetületig összefoglaltuk a geodéziai és topográfiai célokra alkalmazott alapfelületeket és vetületi rendszereket, valamint a hozzájuk tartozó térképrendszereket, a szükséges állandókkal és összefüggésekkel együtt. Elvégeztük az országos erdészeti térképrendszer térképi vetületeiből az EOVS-be történő

áttérés feladataival összefüggő vizsgálatokat.

2004: A FAGH önálló újbóli kiegyenlítéséhez a rendelkezésre álló, napjainkig nyert megfelelő mérési adatokat adatbázisba rendeztük úgy, hogy a kiegyenlítésüket optimális módon lehessen végrehajtani (a normálmátrix célszerűen szalagmátrix legyen).

Levezettük a 7-paraméteres transzformáció megoldását arra az esetre, ha a relatív geoidundulációt is ismeretlennek tekintjük. Elvégeztük a problémakör elméleti megoldásainak vizsgálatát.

Folytattuk vizsgálatainkat a függővonal-elhajlásokból kimutatható dátumeltérésekkel kapcsolatban. Megvizsgáltuk a függővonal-elhajlási pontok sűrűségének és eloszlásának hatását a nehézségi rendellenesség-adatok dátumeltéréseinek kimutathatóságára. A kutatások keretében a geodéziai dátumprobléma vizsgálatát kezdtük meg az Eötvös-inga mérések tekintetében.

Megállapítottuk, hogy a geodéziai dátum (geodéziai vonatkozási rendszer) megváltozása egyrészt a normál nehézségi erőtéren keresztül érvényesül, másrészt a mérési pontok koordinátáinak változásán keresztül fejt ki hatását. A mérési pontok koordinátáinak 10 m nagyságrendű változása század Eötvös nagyságú, közel állandó értékű eltéréseket okoz, de csak a horizontális és vertikális gravitációs gradiens esetében. A vonatkozási rendszer (szintellipsoid) helyzetének és alakjának változása hasonló jellegű, bár különböző számértékű, első- és másodrendű eltéréseket okoz. Ezek az eltérések a mérési pontossághoz képest még nem jelentősek (1-2 Eötvös), viszont mivel az eltérés nagy területre közel állandó értékű, ezért a geoidmeghatározás esetében további számításokkal szükséges a területi integrálás hatását kimutatni.

Megvizsgáltuk a hagyományos és a GPS-szel mért ún. vegyes hálózatok előfordulási eseteit és a mérések együttes kiegyenlítésének lehetőségeit. A normálmetszeti számításokból kiindulva meghatároztuk a kiegyenlítés közvetítő egyenleteit a mérési pont horizonti koordináta-rendszerében, valamint a vetületi síkon. A közvetítő egyenletekhez meghatároztuk a variancia-kovariancia mátrixokat, amelyek a kiegyenlítésben a súlyozásnál és a középhibák számításánál kapnak majd szerepet.

Korszerűsítettük, és teljesen átdolgoztuk a BME-n alkalmazott Vetülettan és a Különleges vetületek című tantárgyak anyagát

OTKA pályázatunk témakörében önálló szekcióülést szerveztünk (MTA/GGKI, Sopron, Geomatikai Szeminárium, 2004 őszén), amelynek keretében a résztvevő kutatók beszámoltak az addig végzett kutatásaikról. Az előadások anyagát írásos formában a Geomatikai Közlemények folyóiratban jelentettük meg.

2005: Modellszámításokat végeztünk a 7 transzformációs paraméter és a geoidundulációk együttes meghatározására.

A gravimetriai geoidmeghatározás dátumproblémájának vizsgálatát kiterjesztettük az Eötvös-inga adatokra. Vizsgálatokat kezdtünk abban a tekintetben, hogy ezek az adatok milyen geodéziai dátumra vonatkoznak, illetve a geoidmeghatározás szempontjából az Eötvös-inga adatok esetében a dátumeltérések mekkora változásokat okozhatnak a geoid-ellipsoid távolságokban. A vonatkozó vizsgálataink alapján javaslatokat tettünk a nehézségi rendellenességek és az Eötvös-inga mérések esetében a dátumprobléma megoldására.

Folytattuk a közvetítő egyenletek és a variancia-kovariancia mátrixok meghatározását ellipszoidi és térbeli derékszögű koordináta-rendszerek esetében. A BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék sósikúti geodinamikai mozgásvizsgálati mikrohálózatára alkalmazva megvizsgáltuk a felhasznált átszámítási módszereket vetülettani szempontból.

Folytattuk kutatásainkat annak igazolására, hogy a szakirodalommal ellentétben az ivaniči vetületnélküli rendszert nem váltották fel sztereografikus vetülettel, és így nem létezik ivaniči sztereografikus vetületi rendszer. Elvégeztük az EOVR-rendszerbeli és a GPS-mérésekből nyert koordináták között a különböző polinomos transzformációk összehasonlító vizsgálatát.

2006: Az elsőrendű hálózatunk egységes kiegyenlítésének tesztelése céljából az egész hálózatot részekre bontottuk, és az egyes hálózatrészek méréseit külön-külön kiegyenlítettük. Az EOVR elsőrendű hálózatának egészében véve egységes kiegyenlítése hamarosan befejeződik.

Nemzetközi és nemzeti kiegyenlítések eredményeit hasonlítottuk össze annak céljából, hogy a lényegében azonos alaphálózatra épülő, de eltérő paraméterezésű és időpontú kiegyenlítések különbözősége nyomon követhető legyen.

Az Általános- és Felsőgeodézia Tanszék sósikúti geodinamikai mozgásvizsgálati hálózatában végzett hagyományos geodéziai és GPS-mérésektől együttesen kiegyenlítettük, és vizsgáltuk, hogy milyen egyéb adatok vezethetők le a vegyes hálózatok méréseiből.

Megvizsgáltuk az ellipszoidi normálmetszet azimutjának számítási lehetőségeit. A régi, közelítő eljárás helyett új, elhanyagolás nélküli, zárt képletekkel történő számításokat vezettünk be. Mindkét módszerben az azimutot a kezdőpont horizonti rendszerében határoztuk meg. Az első módszerrel vektoriális szorzatok felhasználásával jutunk a horizonti rendszerbe, a másodiknál a kezdőpont földrajzi koordinátái alapján felírt transzformációs mátrix segítségével. A számítások egyszerűbbek, mint a hagyományos módszer és nem tartalmaznak elhanyagolásokat.

Kidolgoztuk a magyar és az osztrák geodéziai vetületi rendszerek közötti - navigációs célú - vetületi átszámítási módszereket. Az Általános- és Felsőgeodézia Tanszéken elkészült teljes vetülettani anyagot az Interneten is elérhetővé tettük.

Kutatásaink keretében olyan átszámítási szoftververziókat készítettünk, amelyek a GPS mérésekből nyert 3D-koordináták és a balti alapszint feletti magasság alapul vételével számított térbeli derékszögű koordináták közötti átszámításokon túl egységes keretbe foglalják a magyarországi vetületekhez és az UTM-vetülethez kapcsolódó átszámításokat is. Az EOVR-WGS84 (GPS) koordináta-transzformációra a mesterséges neurális hálózatok alkalmazásával Interneten futtatható (és mindenki számára elérhető) alkalmazást készítettünk.

Az OTKA-kutatásunk keretében vizsgálatok eredményei beépültek a témakörhöz szorosan kapcsolódó következő egyetemi szak- és tankönyvek anyagába:

1. Ádám J. – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Kenyeres A. – Krauter A. – Takács B. (szerk.): *Műholdas helymeghatározás*. Műegyetemi Kiadó, 458 old., Budapest, 2004.
2. Bácsyay L.: *Magyarországi vetületek*. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest, 2006.

A kutatási eredmények részét képezik a kutatásban közreműködő kutatók doktori (MTA doktora, PhD) értekezéseinek:

1. Bányai L.: A műholdas helymeghatározás földtudományi alkalmazása. MTA doktora tudományos cím elnyerése céljából benyújtott értekezés, MTA GGKI, Sopron, 2007.
2. Szűcs L.: A GPS mérési módszer és a geodézia hagyományos mérési módszereinek együttes alkalmazása. PhD értekezés, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest, 2006.
3. Varga J.: Vetületi rendszerek és átszámítások. PhD értekezés, BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, Budapest, 2007.

További PhD értekezések készítése pedig folyamatban van a következő közreműködő kutatók részéről: Busics György, Kratochvilla Krisztina, Virág Gábor és Zaletnyik Piroska.